

Variabilidade espacial de propriedades do solo, índices de vegetação e produtividade de pastagem sob manejo intensivo

Alberto C. de Campos Bernardi*¹, Mariana Campana², Giovana Maranhão Bettioli¹, Patrícia P. A. de Oliveira¹, Ricardo Y. Inamasu^{3,4}, Ladislau M. Rabello³

¹Embrapa Pecuária Sudeste, CEP 13560-970, São Carlos, SP

²CCA/UFSCar, Araras, SP

³Embrapa Instrumentação, São Carlos, SP

⁴Bolsista do CNPq

*E-mails: alberto.bernardi@embrapa.br

Resumo: O conhecimento da variabilidade espacial das propriedades do solo é útil para o uso racional dos insumos, como na aplicação a taxa variável de calcário e fertilizante. A AP necessita de métodos que indiquem a variabilidade espacial do solo e das culturas para reduzir a necessidade de amostragens intensivas e caras. O objetivo deste trabalho foi o mapear a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo, parâmetros biofísicos, produtividade e análise econômica de uma pastagem de capim-mombaça irrigada e manejada no sistema intensivo rotacionado em São Carlos (SP). A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi medida com um protótipo de sensor de contato. O índice de diferença de vegetação normalizado (NDVI) e o teor de clorofila (Chl) foram medidos com o sensor óptico ativo Crop Circle. Os resultados mostraram que o mapa da CE apresentou com a mesma tendência da produção de matéria seca. Os índices de vegetação têm potencial para o mapeamento da variabilidade espacial da produção de forragem. As ferramentas de AP foram úteis para estabelecer a variabilidade espacial da pastagem e fornecer informações para as estratégias de manejo.

Palavras-chave: geoestatística, NDVI, NDRE, Chl, CEa, *Panicum maximum*, retorno econômico.

Spatial variability of soil properties, vegetation index and productivity of intensively managed grassland

Abstract: The knowledge of spatial variability soil properties is useful in the rational use of inputs, as in the variable rate application of lime and fertilizers. PA requires methods to indicate the spatial variability of soil and crops for reducing the need for expensive and intensive sampling. The objective of this work was to map and evaluate spatial variability of soil electrical conductivity, biophysics parameters, yield and economical return of an intensively manages pasture. The study was conducted in an area of pasture Mombaça grass irrigated and intensively managed in a rotational system in Sao Carlos, SP, Brazil. Soil electrical conductivity (EC) was measured with a prototype of a contact sensor. NDVI and chlorophyll content (Chl) readings were taken during the summer season with a Crop Circle active optical sensor. Results showed that the NDVI and ECa had the same tendency of dry matter estimation. Results showed that EC map had the same tendency of dry matter production. Vegetation indexes have the potential to map the spatial variability of pasture production. PA tools were useful to establish the pasture spatial variability and support the management strategies.

Keywords: geostatistics, NDVI, NDRE, Chl, ECa, *Panicum maximum*, economical return.



1. Introdução

A agricultura de precisão (AP) auxilia os produtores na tomada de decisões gerenciais para os diferentes sistemas de cultivo (KOCH; KHOSLA, 2003). Entretanto, a AP requer ferramentas para avaliar a variabilidade espacial do solo e das culturas que possibilitem a redução das amostragens intensivas e caras (McBRATNEY; PRINGLE, 1999). Isso tem levado ao surgimento de uma série de propostas e sistemas de sensoriamento e monitoramento, que têm como objetivo a medida indireta de propriedades do solo ou das culturas com base em sistemas ópticos, eletromagnéticos, eletroquímicos, mecânicos, fluxo de ar e acústicos (ADAMCHUK et al., 2004).

O uso de ferramentas de AP tem sido frequente nas culturas anuais e perenes, especialmente em grãos, hortícolas e fruteiras, mas ainda tem aplicações que poderiam ser mais bem exploradas nos sistemas de produção animal, especialmente naqueles baseados no uso de pastagens tropicais para ruminantes. Schellberg et al. (2008) já demonstraram e discutiram o potencial, benefícios e limitações do uso da AP em sistemas de pastagens.

Marcos conceituais foram desenvolvidos para a zootecnia de precisão (Laca 2009) e sistemas de pastagem (Schellberg et al. 2008) e, para sistemas integrados considerando os componentes animal e forragem (Hacker et al., 2008). O trabalho de Trotter (2010) procura integrar as opções de novas tecnologias de AP, que podem ser usadas para monitorar e gerenciar a variabilidade espacial nos componentes solo, planta e animal de sistemas de pastejo. O conhecimento da distribuição espacial dos atributos do solo e de suas relações com a pastagem por meio das ferramentas de AP pode decisiva para manejo intensivo de pastagens.

Os índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto têm sido amplamente utilizados para estimar a biomassa de culturas e pastagens, uma vez que fornecem padrões temporais e espaciais das mudanças nos ecossistemas e tem sido útil na estimativa de parâmetros biofísicos (MOGES et al., 2004; NUMATA et al., 2007). A mensuração da refletância espectral é a abordagem sem contato e não destrutiva mais promissora para a determinação da deficiência de nitrogênio e

estimativa da biomassa das culturas (TUMBO; WAGNER; HEINEMANN, 2002). A luz vermelha é absorvida pelos pigmentos verdes (clorofila), em tecidos fotossinteticamente ativos, e, portanto, a proporção refletida varia inversamente à quantidade de biomassa vegetal. No entanto, no campo, a intensidade de luz vermelha refletida vai depender não apenas da proporção absorvida, mas, também, da intensidade incidente, que varia com a localização e hora do dia.

O índice de diferença de vegetação normalizado (NDVI), por ser uma ferramenta rápida e eficiente de detecção de variações na vegetação (ROUSE et al., 1973), é comumente usado para avaliar a sanidade, a biomassa e o teor de nutrientes das plantas. Este índice também se correlaciona com rendimentos agrícolas (MOCHHEIM e BARBER, 1998). Hill et al. (1999) e Vickery et al. (1999) relacionaram o NDVI com crescimento vegetal.

O conteúdo de clorofila (Chl) do dossel de uma cultura é uma variável biofísica que expressa quantitativamente a capacidade fotossintética da vegetação. Ela está relacionada a parâmetros biofísicos do dossel, como teor de nitrogênio, biomassa, coloração verde, índice de área foliar total, balanço de troca de CO₂, e radiação fotossinteticamente ativa absorvida - PAR (GITELSON et al., 2005). Entre 50 a 70 % do N total na folha está associado a enzimas presentes nos cloroplastos por isso existe relação direta entre o teor de N e o conteúdo de clorofila (MARSCHNER, 1995). Dessa forma, as leituras de sensores oferecem rápida e estimativa não-destrutiva dos teores de clorofila nas folhas, e estas podem relacionar-se diretamente com a produtividade de matéria seca e qualidade da forragem (SCHEPERS; SHANAHAN; LUCHIARI JUNIOR, 2000). O sensoriamento remoto tem sido utilizado na estimativa do teor de clorofila do dossel, na estimativa da produção de biomassa e para detectar o estresses (GITELSON et al., 2005). Sensores ativos ópticos comerciais, como Greenseeker e Crop Circle, foram utilizados para estimativas de produção de forrageiras por Flynn, Dougherty e Wendroth (2008) e Trotter et al. (2010).

A condutividade elétrica aparente do solo integra textura e da disponibilidade de água, duas características do solo que afetam a produtividade, e pode auxiliar na interpretação das variações de rendimento das culturas

(KITCHEN; SUDDUTH; DRUMMOND, 1999) e foi relacionada com a variabilidade espacial da produção das culturas (KITCHEN; SUDDUTH; DRUMMOND, 1999; LUCHIARI et al., 2001). No Brasil, Machado et al. (2006) verificaram que os valores da CEa estavam relacionados com o teor de argila do solo e sua variabilidade espacial e foi útil para o estabelecimento dos limites de zonas de manejo em lavoura de soja. Serrano et al. (2010) mostraram que a ECa medida em área de pastagem relacionou-se positivamente com o pH e produção de matéria seca.

A análise da sustentabilidade de qualquer sistema tem de considerar tanto os aspectos agrônômicos, quanto os ambientais e os econômicos. A escala de produção é um dos fatores importantes para a viabilidade econômica da pecuária, e os sistemas de produção tenderão a se intensificar, visando apresentar maior rentabilidade. De acordo com Bouwman et al. (2005) o aumento na intensificação deverá obrigatoriamente ser acompanhado de melhoria no manejo. Neste cenário o monitoramento da produção de forragem pode ser um elemento chave na para a intensificação. A AP é uma postura gerencial que leva em conta a variabilidade espacial da propriedade para maximizar o retorno econômico e minimizar riscos de dano ao meio ambiente (INAMASU et al., 2011). Griffin e LowenDeBoer (2005) em revisão de vários trabalhos sobre o uso da AP, indicaram que em 68% dos casos analisados os sistemas com uso da AP foram mais rentáveis que os sistemas de cultivo convencional.

O objetivo deste trabalho foi o mapear a variabilidade espacial da condutividade elétrica do solo, parâmetros biofísicos, produtividade e análise econômica de uma pastagem de capim-mombaça irrigada e manejada no sistema intensivo rotacionado em São Carlos (SP).

2. Material e Métodos

O estudo foi conduzido na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos, SP (21°57'15 S e 47°50'53,5 W; 856 m acima do nível do mar), em área de solo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico textura média (CALDERANO FILHO et al., 1998). O clima da região é tropical de altitude,

com 1502 mm de precipitação pluvial anual e médias de temperatura mínima e de temperatura máxima de 16,3°C (julho) e de 23°C (fevereiro), respectivamente (CENTRO..., 2010). A área de 8 ha de pastagem de *Panicum maximum* cv. Mombaça vem sendo manejada no sistema intensivo desde 2005. As pastagens são manejadas em sistema rotacionado (Figura 1A) de pastejo com 3 e 4 dias de ocupação e 33 e 44 dias de descanso na época das águas e da seca, respectivamente. O pasto foi adubado após a saída dos animais de cada piquete, com resíduo em torno de 40 cm, na dosagem de 80 kg/ha de nitrogênio por ciclo de pastejo, reduzida à metade no período da seca. A irrigação por aspersão foi realizada através de sistema autopropulsor de movimentação circular do tipo pivô central. A pastagem de capim-mombaça é dividida com cerca eletrificada em 4 sistemas de 12 piquetes (Figura 1A).

A amostragem para produção biomassa da forragem foi realizada a cada 33 dias, respeitando-se a altura de corte de 35 cm (resíduo). A amostragem ocorreu em área de 3,95 ha (Figura 1B). Para cada piquete foram colhidas 4 amostras aleatórias de 1m² (PENATI et al., 2005). O material colhido foi pesado e levado para estufa com circulação forçada de ar a 60°C por 72 horas até o peso constante para determinação da matéria seca.

A condutividade elétrica aparente do solo (CEa) foi medida com um protótipo de sensor de contato descrito por Rabello et al. (2011). Os dados de reflectância do dossel do capim Mombaça foram coletadas utilizando o sensor Crop Circle ACS-430 (Holland Scientific, Lincoln, NE) um dia antes da avaliação da produção de matéria seca durante 3 meses no verão. O sensor ativo ACS-430 mede a reflectância da luz do solo e das culturas emitida por um diodo emissor de luz policromática modulada (LED) em 3 canais ópticos (670, 720 e 760 nm) (SOLARI et al., 2008). As medidas foram realizadas a aproximadamente 0,5 m acima e perpendicular ao dossel das plantas. Foi utilizado um sistema de posicionamento global (GPS) Garmin (Garmin GPSmap 60CSx, Garmin Int. Corp., Olathe, KS) para obter as coordenadas geográficas de cada medição de reflectância. A partir das medidas foram calculados os índices descritos na Tabela 1.

A partir dos resultados de produção de matéria seca, foram realizadas simulações para estimativa

da lotação animal, ganho de carcaça e receita bruta. Para a simulação de ganho de carcaça por hectare e receita bruta foram considerados os seguintes indicadores como base de cálculo: UA = unidade animal, representada por 450 kg

de peso vivo; produção de massa de forragem acima de 35 cm de altura; 240 dias de estação das águas; 120 dias de estação seca; 700 g de média de ganho de peso diário nas águas; 200 g de média de ganho de peso diário na seca; perda de forragem



Figura 1. Aspecto geral (A) e localização (B) da área de pastagem de capim-mombaça irrigado em São Carlos, SP.

Tabela 1. Cálculos e definições dos parâmetros biofísicos

	Equação	Descrição	Referência
NDVI	$NDVI = \frac{(Nir_{760} - Vis_{670})}{(Nir_{760} + Vis_{670})}^{-1}$	<i>Normalized difference vegetation index</i> ou Índice de diferença de vegetação normalizado, relacionado à quantidade de biomassa verde, teor e conteúdo de pigmentos e estresse hídrico.	Rouse et al. (1973)
NDRE	$NDRE = \frac{(Nir_{760} - Re_{720})}{(Nir_{760} + Re_{720})}$	<i>Normalized difference red edge</i> ou diferença normalizada na banda do vermelho, relacionado aos teores de clorofila e N na biomassa.	Barnes et al. (2000) e Rodriguez et al. (2006)
Chl	$Chl = 1 - [(Nir_{760}) (Re_{720})^{-1}]$	<i>Chlorophyll Index</i> ou índice de clorofila, relacionado ao teor de clorofila.	Gitelson, Gritz e Merzlyak (2003)
SRI	$SRI = (Nir_{760}) (Vis_{670})^{-1}$	<i>Simple Ratio Index</i> ou índice de relação simples, relacionado à quantidade de biomassa verde, teor e conteúdo de pigmentos e estresse hídrico.	Tucker (1979)
MSR	$MSR = 1 - \frac{(Nir_{760} - Vis_{670})}{[1 + (Nir_{760} + Vis_{670})^{-0,5}]}$	<i>Modified simple ratio</i> ou relação simples modificada, relacionada à linearização do índice em relação aos parâmetros biofísicos.	Chen (1996)

Obs.: NIR_{760} , Re_{720} e VIS_{670} e são as refletâncias das bandas nos comprimentos de luz de 760, 720 e 670nm.

acima de 35 cm de altura de 20%; média de peso do boi = 300 kg; preço da arroba do boi = R\$ 95,00; consumo de massa de forragem = 2% do peso vivo animal; oferta de forragem = 2,5% do peso vivo animal; rendimento de carcaça = 50%.

Os dados de CE, parâmetros biofísicos (NDVI, NDRE, Chl, SRI e MSR), produção de MS, e as estimativas de lotação animal, ganho de carcaça e receita bruta foram espacializados pelo método do inverso do quadrado da distância, e os mapas de contorno foram gerados com o software Arc Gis 9.2 para gerar.

3. Resultados e Discussão

Bernardi et al. (2011) avaliaram a variabilidade espacial das propriedades químicas do solo e da necessidade de calagem e adubação para esta área. Os parâmetros foram modelados utilizando semivariogramas e os mapas foram obtidos por krigagem com o software Vesper. Os resultados indicaram que a área em estudo apresentava-se muito homogênea quanto às propriedades do solo avaliadas, e que apenas a adubação potássica a taxas variáveis teria potencial para ser adotada.

Segundo Vieira (2000), existem interpoladores que não consideram a dependência espacial, como inverso do quadrado da distância, média móvel ponderada e outros que interpolam por meio de ajuste por polinômios bidimensionais. Entretanto, estes interpoladores não consideram a estrutura da variação espacial dos valores medidos revelado pelo semivariograma, e portanto não determinam com exatidão a variação dos dados interpolados.

O método de interpolação pelo inverso do quadrado da distância apresenta algumas limitações, uma vez que a interpolação ocorre por meio do ajuste de polinômios bidimensionais, sem considerar a estrutura da variação espacial dos valores medidos obtido pelo semivariogramas (VIEIRA, 2000).

A medida da condutividade elétrica aparente do solo (CEa) está relacionada a algumas propriedades do solo como textura, matéria orgânica e CTC (KITCHEN; SUDDUTH; DRUMMOND, 1999; LUCHIARI et al., 2000; MACHADO et al., 2006). Na Figura 2 é apresentada a espacialização da CEa, que como já havia sido indicado por Bernardi et al. (2011), existe pouca variação nos

valores de CEa. Porém, é possível destacar-se 3 regiões distintas na área em estudo, nas quais os valores de CEa foram $< 3,3 \text{ mS m}^{-1}$, de 3,3 a $6,6 \text{ mS m}^{-1}$ e de 6,6 a $9,9 \text{ mS m}^{-1}$. Houve uma tendência da produção de matéria seca relacionar-se com a CEa, confirmando as observações de Serrano et al. (2004).

O cálculo do NDVI é feito pela diferença de refletância entre a faixa de infravermelho próximo (NIR) e a do vermelho visível (VIS) e normalizada pela divisão da soma das faixas de NIR e VIS (ROUSE et al., 1973). Neste índice, é incluída especificamente a região do vermelho, em substituição a de toda região do visível, devido à maior absorção da radiação eletromagnética pela clorofila para esta faixa espectral em relação às demais. Esta faixa espectral tem a vantagem de corresponder a de maior comprimento de onda na faixa do visível e de menor interferência da atmosfera (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Além disso, é adequado para áreas com coberturas vegetais maiores que 80%, pois é pouco afetado pelos fatores topográficos (LYON et al., 1998). Na Figura 3B é apresentado o mapa da variabilidade espacial das leituras de NDVI da pastagem de capim-Mombaça. As leituras obtidas no presente estudo foram altas, e apresentam pouca variação, sendo que os valores observados variaram de 0,64 a 0,88. Tucker (1977) descreveu a refletância

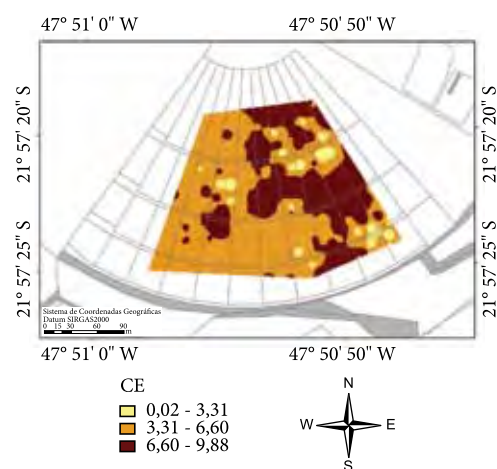


Figura 2. Mapa da condutividade elétrica aparente do solo de uma pastagem de capim-mombaça irrigado em São Carlos, SP. Fonte: adaptado de Bernardi et al. (2011).

espectral do dossel de uma forrageira como uma curva assintótica, por isso os incrementos de densidade de vegetação produzem incrementos na reflectância, até o ponto em que os aumentos adicionais na área foliar não provocam alterações na reflectância. Há uma tendência das áreas escuras do mapa apresentarem maior produção de matéria seca, pois o NDVI é sensível ao conteúdo de clorofila das folhas e índice de área foliar da vegetação (MOGES et al., 2004; NUMATA et al., 2007).

Outra área espectral de considerável interesse tem sido a NDRE ou *Normalized difference red edge* (diferença normalizada na banda do vermelho) normalizada pela divisão da soma das faixas de forte absorção de luz vermelha de clorofila (~ 720 nm) e a banda altamente reflexiva do infravermelho próximo (~ 760 nm). Esta região de comprimento de onda é muitas vezes referida como a *rede edge* (“banda vermelha”). De acordo com Barnes et al. (2000) e Rodriguez et al. (2006) a red edge se modifica para comprimentos de onda ligeiramente mais longos com o aumento do teor de clorofila. Dessa forma, sendo um índice útil no manejo de pastagens manejadas intensivamente, pois também têm sido utilizado para inferir as taxas de aplicação de adubos (BARNES et al., 2000; RODRIGUEZ et al., 2006). Na Figura 3C está o mapa da variabilidade espacial das leituras de NDRE. As leituras obtidas no presente estudo foram apresentaram pouca variação com valores variando de 0,23 a 0,40.

A concentração de clorofila (Chl) muito importante, pois esta estrutura molecular controla o potencial fotossintético e, por consequência, a produção primária de uma cultura. A clorofila incorpora uma grande parte do N total das folhas, e o seu teor é uma estimativa indireta precisa do estado nutricional de plantas (MARSCHNER, 1996). A Figura 3D mostra o mapa da distribuição das leituras de Chl da pastagem de capim-Mombaça. Os valores obtidos indicam 3 classes distintas de Chl. Observa-se que o mapa deste índice é muito semelhante ao de NDRE, porém com maior amplitude de valores. Indicando que o Chl pode ser um índice mais útil para utilização no manejo de pastagens.

Dessa forma, as leituras de sensores oferecem rápida e estimativa não-destrutiva dos teores de clorofila nas folhas, e estas podem relacionar-se diretamente com a produtividade de matéria seca e qualidade da forragem (SCHEPERS;

SHANAHAN; LUCHIARI JUNIOR, 2000). O sensoriamento remoto tem sido utilizado na estimativa do teor de clorofila do dossel, na estimativa da produção de biomassa e para detectar o estresses (GITELSON et al., 2005).

Na Figura 4, encontra-se a simulação da lotação animal, do ganho de carcaça por hectare e da receita bruta considerando-se a variabilidade espacial da produção de matéria seca no ano. Os benefícios da quantificação da disponibilidade de forragem para a pecuária foi bem documentada por Fulkerson et al. (2005). A Figura 4a indica que em cerca de 70% da área a oferta de forragem foi em média 23,5 t ha⁻¹ de matéria seca, e em 17% da área foram produzidos torno de 25 t ha⁻¹ de MS, sendo que no restante a produção foi entre 19,8 e 22,7 t ha⁻¹. Trotter et al. (2910) também verificaram diferenças entre as produções dos piquetes. Estas diferenças são um grande desafio para o manejo do pastejo (Laca 2009).

A taxa de lotação é a variável de manejo que mais pode impactar a produção animal por área e por ano em sistemas de produção pecuários (WALKER, 1995). No entanto, os resultados (Figura 4b) indicam que em cerca de 90% da área a lotação estaria entre 5,4 e 6,3 UA ha⁻¹, sendo que a estimativa deste parâmetro não acompanhou a tendência observada na produção de forragem. Já os mapas de ganho de ganho de carcaça (kg ha⁻¹ - Figura 4c) e receita bruta (R\$ ha⁻¹ - Figura 4d) apresentaram a mesma tendência da produção de forragem. A estimativa de ganho de carcaça (kg ha⁻¹) em 79% da área seria entre 1,9 a 2,1 t ha⁻¹. Também em 79% da área a receita variaria de R\$ 89.424 a R\$ 98.830 por ha. No restante da área receita seria entre R\$80 mil a R\$ 89 mil, ou seja, representariam uma receita em média 20% menor. No caso da receita, deve-se considerar ainda que as variações no preço da arroba do boi e nos preços dos insumos (corretivos e fertilizantes) podem alterar estas relações e modificar o mapa da receita bruta.

Os resultados indicaram que as medidas da variabilidade espacial e temporal da produção de massa de forragem, obtidas por medições diretas ou estabelecimento dos índices de vegetação, podem fornecer mais indicativos sobre os fatores limitantes à produtividade das pastagens e, auxiliar nas estratégias de manejo do pastejo. Com estas informações é possível estabelecer um plano de correção do solo e adubação com base nestas diferenças. As áreas com maior ou menor potencial

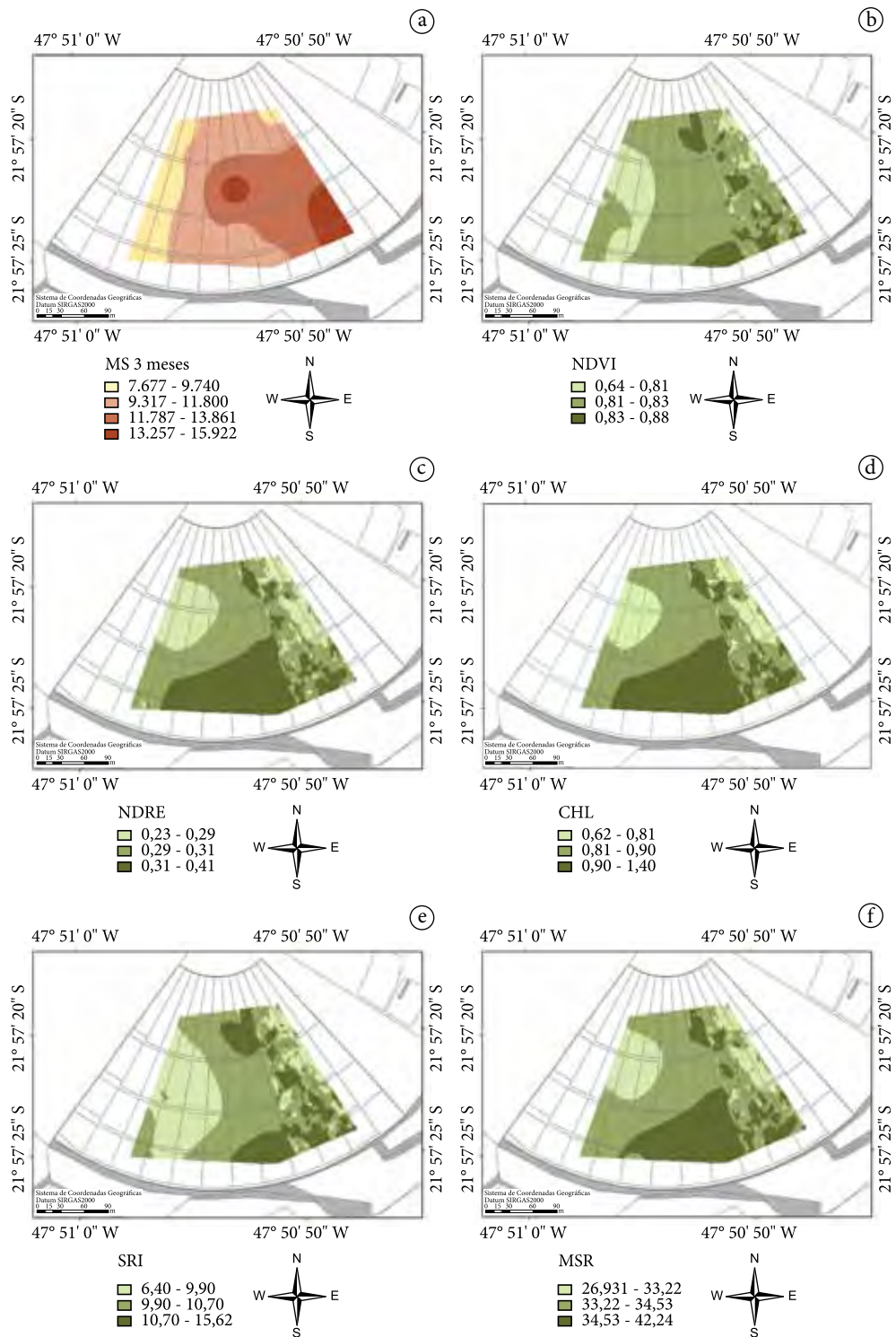


Figura 3. Mapas da produção de MS no verão (A) e dos parâmetros biofísicos (NDVI - B; NDRE - C; Chl - D; SRI - E; e MSR - F) de uma pastagem de capim-mombaça irrigado em São Carlos, SP.

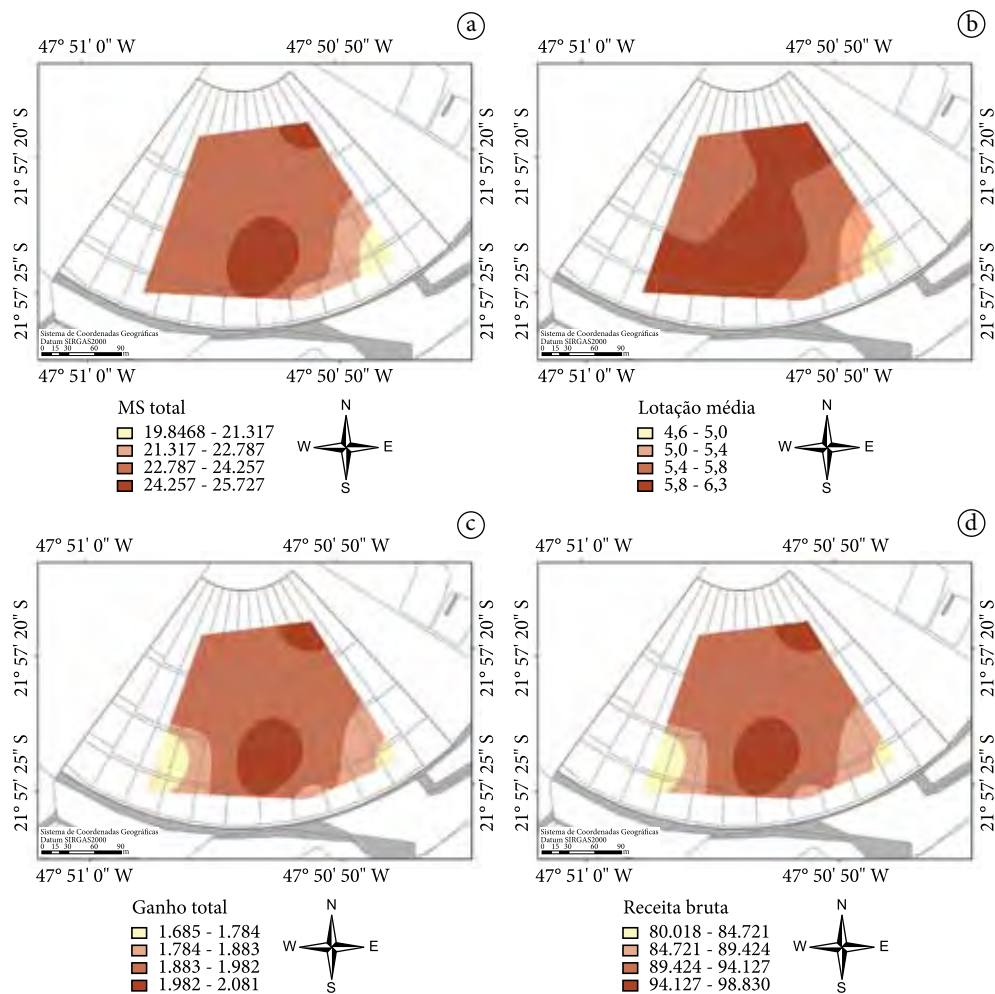


Figura 4. Produção anual de matéria seca (A) e as estimativas de lotação animal (B), ganho de carcaça (C) e receita bruta (D) de uma pastagem de capim-mombaça irrigada em São Carlos, SP.

produtivo de forragem, podem ser identificados para intervenções localizadas. Além disso, os mapas de produção de forragem dos piquetes em estágios indicativos de desenvolvimento de pastagens podem ser utilizados para estabelecer zonas de manejo que podem facilitar muito o manejo das pastagens e também reduzir o esforço para a aquisição das informações.

4. Conclusões

Os resultados deste em pastagem de capim-mombaça irrigado e manejado intensivamente mostraram que o mapa da CE apresentou com a

mesma tendência da produção de matéria seca. E que os índices de vegetação têm potencial para o mapeamento da variabilidade espacial da produção de forragem. As ferramentas de AP foram úteis para estabelecer a variabilidade espacial da pastagem e fornecer informações para o manejo.

Referências

ADAMCHUK, V. I.; HUMMEL, J. W.; MORGAN, M. T.; UPADHYAYA, S. K. On-the go soil sensors for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 44, p. 71-91, 2004. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2004.03.002>

- BARNES, E. M.; CLARKE, T. R.; RICHARDS, S. E.; COLAIZZI, P. D.; HABERLAND, J.; KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; THOMPSON, T.; LUSCANO, R. J.; LI, H.; MORANI M. S. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE ABSTRACTS & PROCEEDINGS, 2000, Bloomington. **Proceedings...** Madison: ASA: CSSA: SSSA, 2000.
- BERNARDI, A. C. C.; BETTIOL, G. M.; INAMASU, R. Y.; RABELLO, L. M. Variabilidade espacial de propriedades do solo em pastagem manejada intensivamente em São Carlos, SP. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 261-266.
- BOUWMAN, A.; VAN DER HOEK, K.; EICKHOUT, B.; SOENARIO, I. Exploring changes in world ruminant production systems. **Agricultural Systems**, v. 84, p. 121-153, 2005. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2004.05.006>
- CALDERANO FILHO, B.; SANTOS, H. G.; FONSECA, O. O. M.; SANTOS, R. D.; PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A. C. **Os solos da fazenda Canchim**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 95 p. (Boletim de Pesquisa, 7).
- CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA. **Clima dos municípios paulistas: a classificação climática de koepfen para o Estado de São Paulo**. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_549.html>. Acesso em: 1 jun. 2010.
- CHEN, J. M. Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 22, p. 229-242, 1996.
- FLYNN, E. S.; DOUGHERTY, C. T.; WENDROTH, O. Assessment of pasture biomass with normalised difference vegetation index from active ground-based sensors. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 114-121, 2008. <http://dx.doi.org/10.2134/agronj2006.0363>
- FULKERSON, W. J.; MCKEAN, K.; NANDRA, K. S.; BARCHIA, I. M. Benefits of accurately allocating feed on a daily basis to dairy cows grazing pasture. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 45, p. 331-336, 2005.
- Gitelson, A. A.; Gritz, U.; Merzlyak, M. N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. **Journal of Plant Physiology**, v. 160, p. 271-282, 2003. <http://dx.doi.org/10.1078/0176-1617-00887>
- GITELSON, A. A.; VIÑA, A.; CIGANDA, V.; RUNDQUIST, D. C.; ARKEBAUER, T. J. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. **Geophysical Research Letters**, v. 32, 2005.
- GRIFFIN, T. W.; LOWENBERG-DEBOER, J. Worldwide adoption and profitability of precision agriculture: implications for Brazil. **Revista de Política Agrícola**, v. 14, p. 20-38, 2005.
- HACKER, R.; THOMPSON, T.; MURRAY, W.; ALEMSEGED, Y.; TIMMERS, P. Precision pastoralism - advanced systems for management and integration of livestock and forage resources in the semi-arid rangelands in south eastern Australia. In: INTERNATIONAL RANGELANDS CONGRESS, 8., 2008, Hohhot. **Proceedings...** Hohhot: Guangdong Peoples Publishing House, 2008.
- HILL, M.; DONALD, G.; VICKERY, P.; MOORE, A.; DONNELLY, J. Combining satellite data with a simulation model to describe spatial variability in pasture growth at a farm scale. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 39, p. 285-300, 1999. <http://dx.doi.org/10.1071/EA98109>
- INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; NAIME, J. M.; QUEIROS, L. R.; RESENDE, A. V.; VILELA, M. F.; JORGE, L. A. C.; BASSOI, L. H.; PEREZ, N. B.; FRAGALLE, E. P. Agricultura de precisão para a sustentabilidade de sistemas produtivos do agronegócio brasileiro. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 14-26.
- KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T. Soil electrical conductivity as a crop productivity measure for claypan soils. **Journal of Production Agriculture**, v. 12, p. 607-617, 1999. <http://dx.doi.org/10.2134/jpa1999.0607>
- KOCH, B.; KHOSLA, R. The role of precision agriculture in cropping systems. **Journal of Crop Production**, v. 8, p. 361-381, 2003. http://dx.doi.org/10.1300/J144v09n01_02
- LACA, E. A. Precision livestock production: tools and concepts. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 123-132, 2009.
- LUCHIARI, A.; SHANAHAN, J.; FRANCIS, D.; SCHLEMMER, M.; SCHEPERS, J.; LIEBIG, M.; SCHEPERS, A.; PAYTON S. Strategies for establishing management zones for site specific nutrient management In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 5., 2001, Bloomington. **Proceedings...** Madison, 2001. CD-ROM.
- LYON, J. G.; YUAN, D.; LUNETTA, R. S.; ELVIDGE, C. D. A change detection experiment using vegetation indices. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 4, p. 143-150, 1998.
- MACHADO, P. L. O. A.; BERNARDI, A. C. C.; ALENCIA, L. I. O.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; SILVA, C. A.; ANDRADE, A. G. A.; MADARI, B. E.; MEIRELLES, M. S. P. M. Mapeamento da condutividade elétrica e relação com a argila de Latossolo sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1023-1031, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2006000600019>
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 1995. 889 p.
- MCBRATNEY, A. B.; PRINGLE, M. J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. **Precision Agriculture**, v. 1, p. 219-236, 1999. <http://dx.doi.org/10.1023/A:100995404447>

- MOGES, S. M.; RAUN, W. R.; MULLEN, R. W.; FREEMAN, K. W.; JOHNSON, G. V.; SOLIE, J. B. Evaluation of green, red and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, p. 1431-1441, 2004. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-200025858>
- NUMATA, I.; ROBERTS, D. A.; CHADWICK, O. A.; SCHIMEL, J.; SAMPAIO, F. R.; LEONIDAS, F. C.; SOARES, J. V. Characterization of pasture biophysical properties and the impact of grazing intensity using remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, p. 314-327, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.01.013>
- PENATI, M. A.; CORSI, M.; LIMA, C. G.; MARTHA JÚNIOR, G. B.; DIAS, C. T. S. Número de amostras e relação dimensão: formato da moldura de amostragem para determinação da massa de forragem de gramíneas cespitosas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 1, p. 36-43, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982005000100005>
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 130 p.
- RABELLO, L. M.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; MOLIN, J. P. Mapeamento da condutividade elétrica do solo - sistema protótipo. In: INAMASU, R. Y.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. (Ed.). **Agricultura de precisão: um novo olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2011. p. 41-45.
- RODRIGUEZ, D.; FITZGERALD, G. J.; BELFORD, R.; CHRISTENSEN, L. Detection of nitrogen deficiency in wheat from spectral reflectance indices and basic crop eco-physiological concepts. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 57, p. 781-89, 2006. <http://dx.doi.org/10.1071/AR05361>
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE -1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. **Proceedings...** Washington: NASA, 1973. p. 309-317. (Goddard Space Flight Center, 1).
- SCHELLBERG, J.; HILL, M. J.; GERHARDS, R.; ROTHMUND, M.; BRAUN, M. Precision agriculture on grassland: applications, perspectives and constraints. **European Journal of Agronomy**, v. 29, p. 59-71, 2008. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2008.05.005>
- SCHEPERS, J. S.; SHANAHAN, J. F.; LUCHIARI JUNIOR, A. Precision agriculture as a tool for sustainability. In: BALAZS, E. (Ed.). **Biological Resource Management**. Connecting Science and Policy, Springer, 2000. p. 129-135. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-04033-1_10
- SERRANO, J.; PEÇA, J.; SILVA, J. M.; SHAIIDIAN, S. Mapping soil and pasture variability with an electromagnetic induction sensor. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 73, p. 7-16, 2010.
- TROTTER, M. G. Precision agriculture for pasture, rangeland and livestock systems. In: FOOD SECURITY FROM SUSTAINABLE AGRICULTURE, 15., 2010, Lincoln. **Proceedings...** Lincoln: Australian Society of Agronomy, 2010a. Disponível em: <http://regional.org.au/au/asa/2010/crop-production/precision-agriculture/7130_trotter.htm#TopOfPage>. Acesso em: 05 dez. 2011.
- TROTTER, M. G.; LAMB, D. W.; DONALD, G. E.; SCHNEIDER, D. A. Evaluating an active optical sensor for quantifying and mapping green herbage mass and growth in a perennial grass pasture. **Crop and Pasture Science**, v. 61, p. 389-398, 2010b. <http://dx.doi.org/10.1071/CP10019>
- TUCKER, C. J. Asymptotic nature of grass canopy spectral reflectance. **Applied Optics**, v. 16, p. 1151-1156, 1977. <http://dx.doi.org/10.1364/AO.16.001151>
- TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127-150, 1979. [http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](http://dx.doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)
- TUMBO, S. D.; WAGNER, D. G.; HEINEMANN, P. H. Hyperspectral-based neural network for predicting chlorophyll status in corn. **Transactions of the ASAE**, v. 45, p. 825-832, 2002.
- VICKERY, P. J.; MOORE, A. D.; DONNELLY, J. R.; HILL, M. J.; DONALD, G. E. Combining satellite data with a simulation model to describe spatial variability in pasture growth at a farm scale. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 39, p. 285-300, 1999. <http://dx.doi.org/10.1071/EA98109>
- VIEIRA, S. R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, G. R. (Ed.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 1-54. v. 1.
- WALKER, J. Viewpoint: grazing management and research now and in the next millennium. **Journal of Range Management**, v. 48, p. 350-357, 1995. <http://dx.doi.org/10.2307/4002488>